

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 54-072653

(43)Date of publication of application : 11.06.1979

(51)Int.Cl.

H01Q 3/26

(21)Application number : 52-140203

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 22.11.1977

(72)Inventor : MOROOKA TASUKU

(54) ADAPTIVE ANTENNA

(57)Abstract:

PURPOSE: To stably and quickly obtain the directivity producing the main beam toward incoming of desired signal, by varying the amplitude of the error signal inputted to the control section inversely proportional with the amplitude of the power output of each antenna element.

CONSTITUTION: The variable coefficient unit 17 is inserted in the path of the error signal $\epsilon(t)$ from the output of the subtractor 13 to the control section 14, the output $\epsilon(t) = 2K_s \epsilon(t)$ is inputted to the control section 14 and the detectors 181 to 18n detecting each output of the antenna elements 111 to 11n are provided so that the coefficient $2K_s$ of the coefficient unit 17 can be inversely proportional to the synthesized output. Accordingly, the convergence of the amplitude and phase given with the weighting circuits 121 to 12n is made stably and quickly without causing oscillation.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑨日本国特許庁(JP)
⑫公開特許公報(A)

⑪特許出願公開
昭54—72653

⑥Int. Cl.²
H 01 Q 3/26

識別記号 ⑤日本分類
98(3) D 12

庁内整理番号 ④公開 昭和54年(1979)6月11日
7530—5J

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑭アダプティブアンテナ

東京芝浦電気株式会社総合研究
所内

①特 願 昭52—140203
②出 願 昭52(1977)11月22日
⑦発 明 者 諸岡翼
川崎市幸区小向東芝町1番地

⑧出 願 人 東京芝浦電気株式会社
川崎市幸区堀川町72番地
⑨代 理 人 弁理士 鈴江武彦 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

アダプティブアンテナ

2. 特許請求の範囲

アレイアンテナを構成する複数個のアンテナ素子の出力を振幅および位相の重みを付けた後合成してアンテナ出力として取出すと共に、上記合成した信号と受信すべき信号に対応する基準信号とを比較し、その差信号である誤差信号を入力とするコントロール部により上記各アンテナ素子の出力に与えられる振幅および位相の重みを制御するようにしたアダプティブアンテナにおいて、上記コントロール部に入力される誤差信号の大きさを前記各アンテナ素子の出力電力の大きさにほぼ反比例させて変化させるようにしたことを特徴とするアダプティブアンテナ。

3. 発明の詳細な説明

この発明はアレイアンテナ、特に不要波の到来方向に零点ができるように指向性が変化する

アダプティブアンテナに関する。

所望信号以外の不要波(雑音も含む)が存在する空間環境中にアレイアンテナが置かれているとき、不要波を受信しないようにアレイアンテナの指向性を変化させて不要波の到来方向に自動的に零点(Null)をつくる受信アンテナをNull Beam forming アンテナまたは広義の意味でアダプティブアンテナと呼んでいる。

第1図はアダプティブアンテナの基本的な構成を示したもので、アレイアンテナを構成するアンテナ素子 $11_1 \sim 11_n$ の出力 $x_1 \sim x_n$ について重み付け回路 $12_1 \sim 12_n$ により振幅および位相の重み $w_1 \sim w_n$ を付けた後加算器13で合成する。重み付け回路 $12_1 \sim 12_n$ は例えば可変利得増幅器などの振幅制御手段および可変移相器などの位相制御手段からなる。重み付け回路 $12_1 \sim 12_n$ で各アンテナ素子 $11_1 \sim 11_n$ の出力 $x_1 \sim x_n$ に付けられる振幅および位相の重み $w_1 \sim w_n$ は、コントロール部14によつてコントロールされる。このコント

ロールは一定のアルゴリズムに従つて、各アンテナ素子 $11, \dots, 11_n$ の出力 x_1, \dots, x_n や加算器 13 の合成出力を評価しながらフィードバックループを使つて行なわれ、これによつて指向性に変化する。この結果、第2図のように、所望信号の到来方向には指向性パターンの主ビームが向けられ、不要波の到来方向には零点が作られる。なお第1図において加算器 13 の出力がアンテナ出力となる。

上記のような基本構成からなるアダプティブアンテナでは、フィードバックループの構成法に関して種々の手法が考えられているが、この発明が対象とするのは特に基準信号を用いたいわゆる LMS アルゴリズムによるアダプティブアンテナである。この方式によるアダプティブアンテナの基本構成を第3図に示す。すなわち加算器 13 の合成出力と基準信号とを引算器 15 で比較し、これにより得られた差信号（誤差信号）をコントロール部 14 に入力する。

第4図は第3図中の1つのアンテナ素子に対

応する部分を抜出して詳細に示したものである。第4図において、1番目のアンテナ素子 11_1 ($1=1, 2, \dots, n$) の出力を $x_1(t)$ とし、 $x_1(t)$ は所望信号と不要波の両方を含むものとする。この信号 x_1 は重み付け回路 12₁ で振幅および位相について重み w_1 が付けられて $w_1 x_1(t)$ なる信号となる。そして加算器 13 で同様に重み付け回路を経由した各アンテナ素子の出力の総和 $\sum w_i x_i(t)$ がとられた後、引算器 15 で基準信号 $R(t)$ との差がとられる。この差信号 $e(t) = R(t) - \sum w_i x_i(t)$ を誤差信号という。この誤差信号 $e(t)$ は係数器 16 で適当な係数 $2k_e$ を乗じられて $e(t) = 2k_e e(t)$ となつた後、コントロール部 14 内の相関器 141₁ に入力されて信号 x_1 との相関がとられる。ここで基準信号 $R(t)$ を例えば所望信号の搬送波に相当した信号としておけば、誤差信号 $e(t)$ 中には不要波と所望信号の一部とが含まれている。従つてこのとき不要波と所望信号との間に相関がなく、かつ不要波が比較的大きいとすれば、相関器 141₁ の出力は信号 $x_1(t)$ 中の

不要波と誤差信号 $e(t)$ 中の不要波との相関出力が大きくなる。コントロール部 14 では相関器 141₁ の出力を積分器 142₁ により平均化して重み付け回路 12₁ に供給することにより、信号 x_1 に与えられる振幅および位相の重み w_1 をコントロールする。

このループは相関器 141₁ の出力中の $e^2(t)$ の時間平均を最小にするように働くことから、LMS ループと呼ばれている。このループによる重み w_1 のコントロールは次式で示される。

$$w_1(t) = w_1(0) - 2k_e \int x_1(t) e(t) dt \dots\dots\dots (1)$$

ここで k_e は収束係数と呼ばれるもので、 $w_1(t)$ を収束させるための係数であり、この k_e の選び方によつて収束性は異なる。これを2素子のアンテナについて検討してみる。第5図はこの検討のために用いたアダプティブアンテナであり、無指向性の2つのアンテナ素子 $11_1, 11_2$ を半波長の間隔で置き、さらに各アンテナ素子 $11_1, 11_2$ の出力は複素電圧実現のため0と $\pi/2$ の2つのチャンネルに分け、それぞれの

チャンネルに重み付け回路 12₁, 12₂, および 12₃, 12₄ を挿入している。そして所望信号および基準信号 $R(t)$ をそれぞれ $\cos \omega_c t$ 、不要波を $\cos \omega_s t$ ($\omega_s = 1, 0, 1, \dots$) とし、所望信号はアンテナ素子 $11_1, 11_2$ の正前方方向から到来し、不要波は正面方向より 30° 離れた方向から所望信号に比べて 30 dB 高いレベルで入射したとする。また信号はすべて連続波 (CW) とする。

第6図は第5図における重み付け回路 12₁ により与えられる振幅および位相の重み w_1 を前記(1)式を使つて繰返し求めたもので、横軸は繰返し回数（これは収束時間に相当する）、縦軸は w_1 の値で k_e をパラメータとしている。

第6図から判るように、収束係数 k_e の値によつて重み w_1 の収束性は著しく異なる。すなわち k_e が小さすぎると、 w_1 の収束時間が長くなり、 k_e が大きすぎると w_1 は振動した後収束することになる。このアンテナは w_1 が収束したとき、所望信号の到来方向に主ビームを作り、

不要波の到来方向に零点を作るものであるから、 w_1 の収束性は安定かつ速やかである方が好ましいことはいうまでもない。これは勿論 w_1 のみならず、全ての重み付け回路で与えられる振幅および位相の重みの収束性についても同様にいえることである。

この発明は上記した点に鑑みてなされたもので、その目的は所望信号の到来方向に主ビームを作り、不要波の到来方向に零点を作るような指向性を安定かつ速やかに得ることができるアダプティブアレイアンテナを提供するにある。

本発明者らは前述した LMS アルゴリズムによるアダプティブアンテナにおいて、各アンテナ素子 $11_1 \sim 11_n$ の出力に与えられる振幅および位相の重みをコントロール部 14 によつて制御する際の収束性は、コントロール部 14 に入力される観測信号の大きさをアンテナ素子 $11_1 \sim 11_n$ の出力電力の大きさにほぼ反比例させて変化させることで、最も良好になることを見出した。この理由は次の通りである。

$$E(w(j+1)) = Q^{-1} \{ [I + 2k_p E]^{j+1} Q W_0 \} - 2k_p Q^{-1} \sum_{i=0}^j [I + 2k_p E]^i Q \phi(x, d) \quad (5)$$

(5) 式の第 1 項は E の対角要素が 1 より小であるから j が十分大きいときは

$$\lim_{j \rightarrow \infty} [I + 2k_p E]^{j+1} \rightarrow 0$$

第 2 項は $\sum_{i=0}^j [I + 2k_p E]^i$ が収束すれば良い。これは $[I + 2k_p E]$ に注目すれば

$$|1 + 2k_p e_{p_{\max}}| < 1 \text{ 又は } \frac{-1}{e_{p_{\max}}} < k_p < 0$$

のとき収束する。($e_{p_{\max}}$ は ϕ の固有値の最大値である)

ところで $e_{p_{\max}} \leq \text{trace}[\phi(x, x)]$ であるから、

$$\text{trace}[\phi(x, x)] = \sum_{i=1}^n E(x_i^2) = \text{全入力電力}$$

即ち (2) 式が収束する k_p の条件は

$$\frac{-1}{\sum_{i=1}^n E(x_i^2)} < k_p < 0$$

これは k_p がアンテナ素子の出力電力に反比例して

(1) 式を全体のアレイに対し次のように表現することもできる。

$$E(w(j+1)) = E(w(j)) - 2k_p E \{ [R(j) - w^T(j)] x(j) x(j)^T \} \quad (2)$$

$$\text{ここで } w(j+1) = \begin{bmatrix} w_1(j+1) \\ w_2(j+1) \\ \vdots \\ w_n(j+1) \end{bmatrix} \quad x(j) = \begin{bmatrix} x_1(j) \\ x_2(j) \\ \vdots \\ x_p(j) \end{bmatrix}$$

(T は転置を示す、 E は期待値)

この式は次のように変形できる。

$$= [I + 2k_p \phi(x, x)]^{j+1} W_0 - 2k_p \sum_{i=0}^j [I + 2k_p \phi(x, x)]^i \phi(x, R) \quad (3)$$

この式を適当なマトリックス Q を使い変換して、対角化する。

$$\phi(x, x) = Q^{-1} E Q \quad (4)$$

$$\text{ここで } E = \begin{bmatrix} e_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & e_2 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \cdots & 0 & e_p \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} I : n \times n \text{ 行列} \\ e_p \text{ は } \phi \text{ の固有値} \end{matrix}$$

これから (3) 式は、

いることを示している。

以下実施例によりこの発明を詳細に説明する。第 7 図はこの発明の一実施例を示す図で、引算器 15 の出力からコントロール部 14 に到る観測信号 $v(t)$ の経路中に可変係数器 17 を挿入し、その出力 $v(t) = 2k_p v(t)$ をコントロール部 14 に入力するようにすると共に、アンテナ素子 $11_1 \sim 11_n$ の各出力電力を検出する検出器 18₁ \sim 18_n を設け、この各検出器 18₁ \sim 18_n の合成出力に応じて上記可変係数器 17 における係数 $2k_p$ を例えばほぼ反比例する形で制御するようにしたものである。

第 8 図は第 7 図のアダプティブアンテナの 1 つのアンテナ素子 11_1 に対応する部分を具体的に示したもので、19₁ はアンテナ素子 11_1 出力を増幅する RF 増幅器であり、この増幅器 19₁ の出力をクリスタル検波器よりなる検出器 18₁ に通してその出力電力を検出する。なお可変係数器 17 としては電子的にその係数 (減衰量または利得) を可変し得るもの、例えばダイオー

ド減衰器や可変利得増幅器が用いられる。また制御部14の内部構成は第4図中に示した通りである。

このように構成されたアダプティブアンテナにおける各アンテナ素子の出力に与えられる振幅および位相の重みの収束性を、第5図と同様に2素子の場合について検討してみる。第9図はアンテナ素子の入力のうち所望信号の振幅 A_s を1とし、不要波の振幅 A_n を種々変えたときの重み w_i の収束性を示したものであるが、検出器の出力に応じて、つまり不要波の振幅に応じて可変係数器17の係数、すなわち減衰比 $k = k_s / k_n$ (但し k_s は基準減衰量)を約20 dB程度の範囲で変えることによつて、安定かつ速い収束が行なわれることが判る。

以上のように、この発明によればコントロール部14に入力される誤差信号の大きさをアンテナ素子11₁、～11_nの出力電力の大きさにほぼ反比例させて変化させるようにしたことにより、重み付け回路12₁、～12_nで与えられる振

幅および位相の収束を、振動などを生じることなく安定かつ速やかに行なわせることができる。従つて所望信号の到来方向に主ビームを作り、不要波の到来方向に零点を作るような指向性を安定かつ速やかに得ることができる。

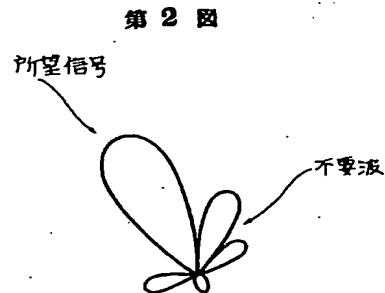
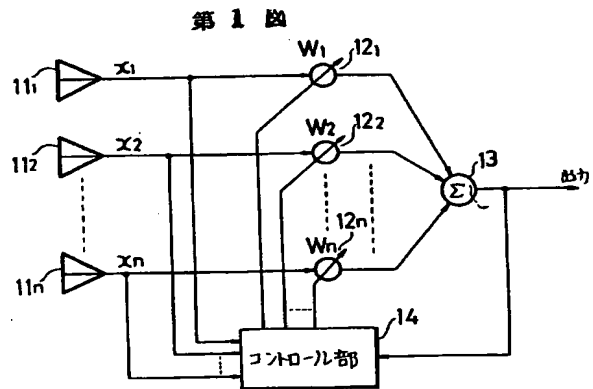
なお、第7図、第8図は指向性制御部を受信波の周波数帯に設けた例であるが、第10図に示すように中間周波数(IF)帯に設けてもよい。第10図において20₁はミキサ、71₁はIF増幅器である。

4. 図面の簡単な説明

第1図はアダプティブアンテナの基本的な構成を示す図、第2図はアダプティブアンテナによつて得られる指向性パターンの一例を示す図、第3図はLMSアルゴリズムによるアダプティブアンテナの基本的な構成を示す図、第4図は第3図の一部分を詳細に示す図、第5図は第3図のアダプティブアレイアンテナにおける振幅および位相の重みの収束性を調べるために用いた2素子アダプティブアンテナを示す図、第6図

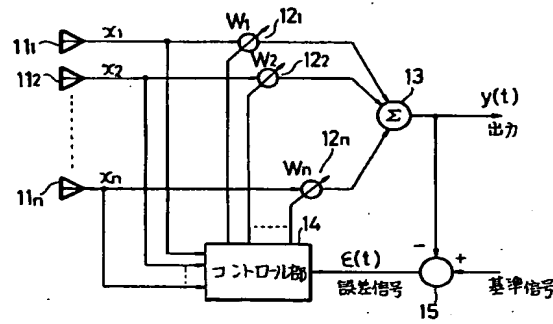
は上記収束性を示す図、第7図はこの発明の基本的な一実施例を示す図、第8図はこの発明のより具体的な実施例の一部の構成のみ示す図、第9図はこの発明に係るアダプティブアンテナにおける収束性を示す図、第10図はこの発明の他の具体的な実施例の一部の構成のみ示す図である。

11₁、～11_n、11_i…アンテナ素子、12₁、～12_n、12_i…重み付け回路、13…加算器、14…コントロール部、15…引算器、16…係数器、17…可変係数器、18…検出器、141₁…相変器、142₁…積分器。

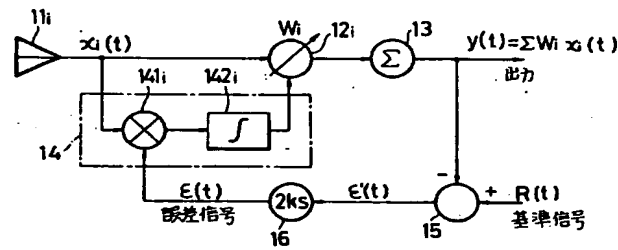


出願人代理人 井理士 鈴 江 武 彦

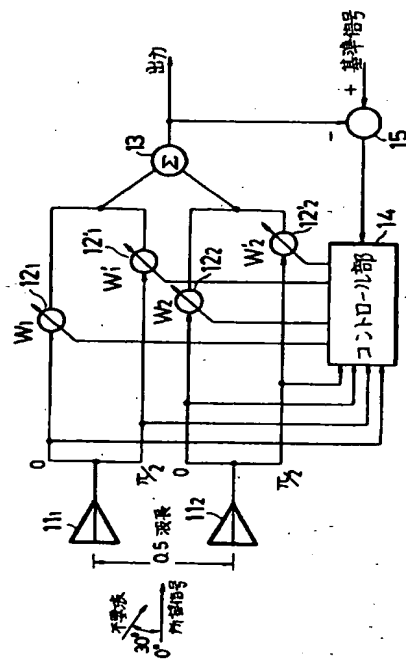
第 3 図



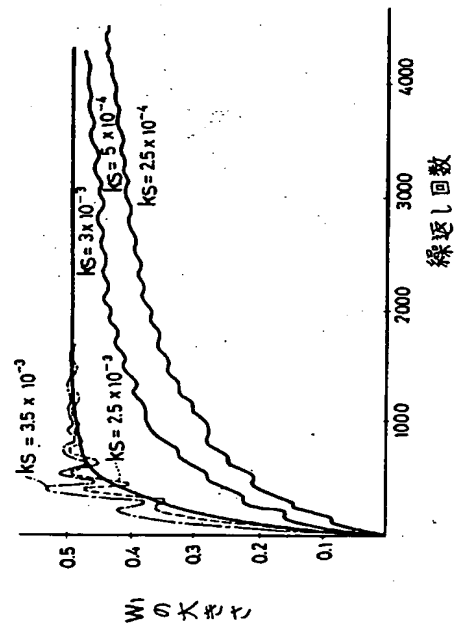
第 4 図



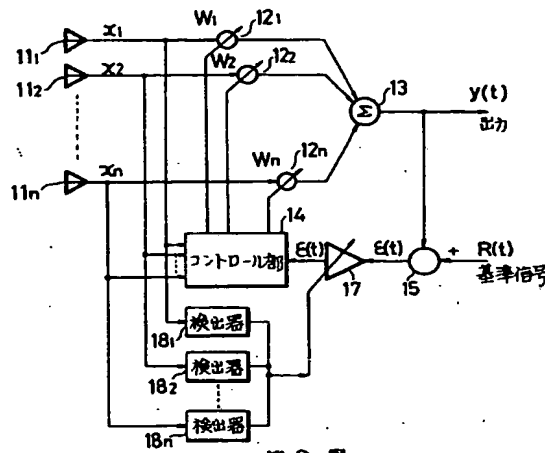
第 5 図



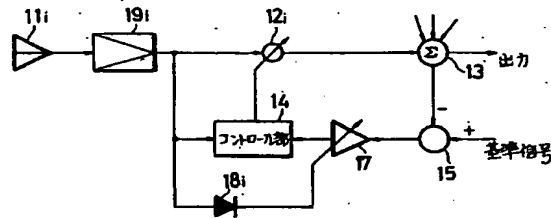
第 6 図



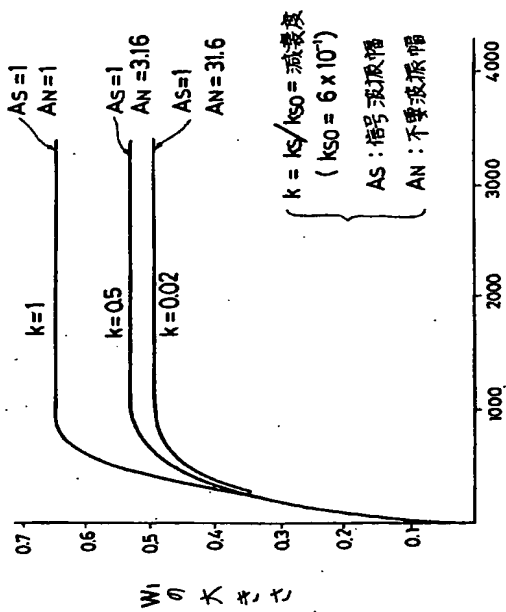
第 7 図



第 8 図



第 9 図



第 10 図

